

2 Dados Sísmicos

Uma área considerada da crosta terrestre tem características próprias resultante da combinação dos terrenos existentes. Assim é que, embora os tipos básicos de terrenos existentes não sejam muitos, a combinação destes particulariza uma área considerada. Partindo desta premissa, o agrupamento de dados sísmicos para a distinção das particularidades de uma área considerada é uma poderosa ferramenta. De forma complementar, as soluções de grupos propostos devem ser de tal forma que possam ser associados às estruturas geológicas visualizadas em mapas. Em outros termos, um novo enfoque do método sísmico é proposto. Um método sísmico é um conjunto de procedimentos objetivando mapear estruturas geológicas utilizando ondas sísmicas, especialmente aquelas de geração artificiais (Sheriff, 1991). Então, partindo do estudo de ondas, neste capítulo é descrito como são formados os dados sísmicos disponibilizados para a aplicação do método proposto nesta tese.

2.1 Ondas

A adequação da teoria de ondas para a crosta terrestre é complexa. Modelos simplificados são utilizados considerando a terra como composta de infinitos cubos infinitesimais, homogêneos, sólidos e elásticos. As ondas se propagam neste modelo da terra como esferas onde se evidenciam frentes e raios (figura 4). As frentes de ondas são esferas de energia que, originadas em uma fonte (artificial), expandem-se a cada tempo de geração.

Raios são linhas perpendiculares às frentes de ondas que indicam a direção de propagação da onda. Dentre as opções de tipos de ondas, duas são particularmente importantes para o estudo da sísmica: as ondas P e as ondas S. Nos eventos de detecção das ondas refletidas, as “*compressional waves*” ou ondas P, referem-se às partículas em movimento na direção da propagação da onda. As

ondas S (“*shear or rotational waves*”) são partículas que tem movimento transversal às ondas P (Gadallah, 1994).

Uma característica de fundamental importância na propagação das ondas é a velocidade. As ondas P e S propagam-se num meio com velocidades constantes. A mudança de um meio (por exemplo, a mudança da propagação na água para a propagação em uma rocha) acarreta mudança de velocidade. Esta é a informação utilizada na sismica.

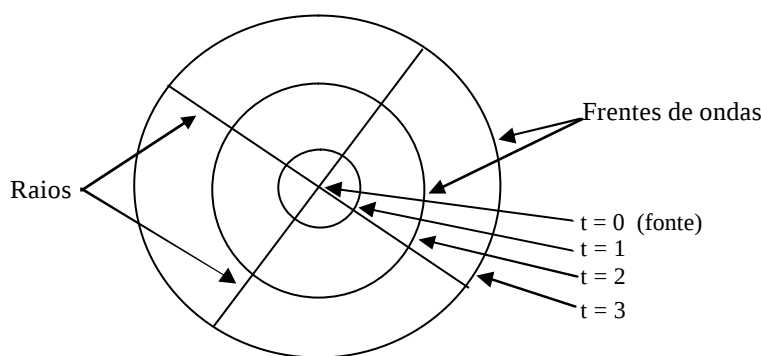


Figura 4 – Frentes e raios de ondas (Gadallah, 1994)

O produto da velocidade da onda num meio v pela densidade deste meio ρ é definido como “impedância acústica” $z = v\rho$. A reflexão é uma consequência do contraste da impedância acústica entre um e outro material. Este contraste, chamado de coeficiente de reflexão, é avaliada através de $R_{n+1} = \frac{z_{n+1} - z_n}{z_{n+1} + z_n}$ onde n e $n+1$ indicam diferentes meios considerados no deslocamento da onda.

A velocidade da onda P tem sempre valores absolutos maiores do que a velocidade da onda S. E ainda, a velocidade da onda P é diferenciada para meios com líquidos comparativamente aos secos ou saturados (diferentemente, na onda S não se verifica esta alteração) (Yilmaz, 1987). Se o objetivo é observar mudanças nas velocidades para inferirmos os meios, as ondas P surgem como dados prioritários na composição do dado sísmico.

As ondas P são observáveis através dos fenômenos da reflexão e refração sendo que os preceitos da lei de Snell são aplicáveis na propagação deste tipo de onda. Uma onda P incidente, quando encontra uma fronteira de mudança de meio (por exemplo, água e rocha) tem duas componentes (figura 5). A primeira

componente é uma onda refletida com velocidade v_1 no mesmo ângulo q_1 da onda incidente. A segunda componente, com velocidade modificada $v_2 \neq v_1$, é uma onda refratada com ângulo q_2 que obedece a relação $\frac{\sin q_1}{\sin q_2} = \frac{v_1}{v_2}$.

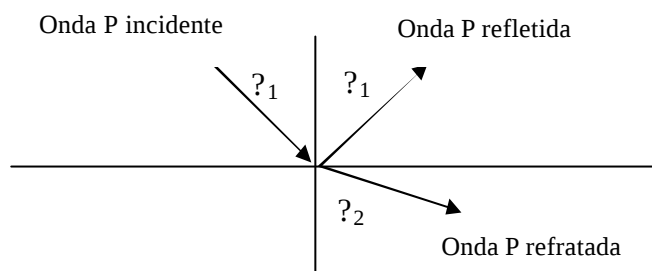


Figura 5 – Lei de Snell aplicada sobre a onda P

A onda refletida retorna à base (ou nível de terreno) onde está a fonte de geração das ondas e pode ser identificada por um valor chamado de sinal sísmico. A onda refratada passa a desempenhar o papel de uma nova onda incidente. A sucessão (unidimensional e vertical) de sinais sísmicos refletidos e refratados é chamada de traço sísmico (figura 6) ou traço ondulado (“*wiggle trace*”). Considerando-se uma linha média do traço sísmico encontramos sinais de picos e depressões. Os picos estão à direita e, por convenção, são preenchidos com tinta preta para a caracterização de padrões. Estes padrões são visualizados com o registro de vários traços sísmicos colocados lado a lado (figura 6 imagem à direita).

No entanto, os sinais sísmicos captados contêm limitações nas distâncias verticais e horizontais entre eles. A “Resolução Sísmica” é o estudo de quanto próximo dois sinais sísmicos podem ser considerados no processo distintamente. Este ponto é importante na medida em que os mapas sísmicos desejados devem reproduzir distâncias viáveis. Duas “resoluções” que dependem da frequência são reportadas na bibliografia: a vertical e a lateral (Yilmaz, 1987). A resolução vertical é relativa ao intervalo de profundidade mínima que o sinal fornece. O

tamanho dominante de uma onda sísmica é dado por $l = \frac{v}{f}$ onde v é a velocidade da onda (que varia aproximadamente entre 2000 e 5000 m/s e aumenta com a profundidade) e f é a frequência dominante (que tipicamente varia entre 50 e 20 Hz e diminui com a profundidade).

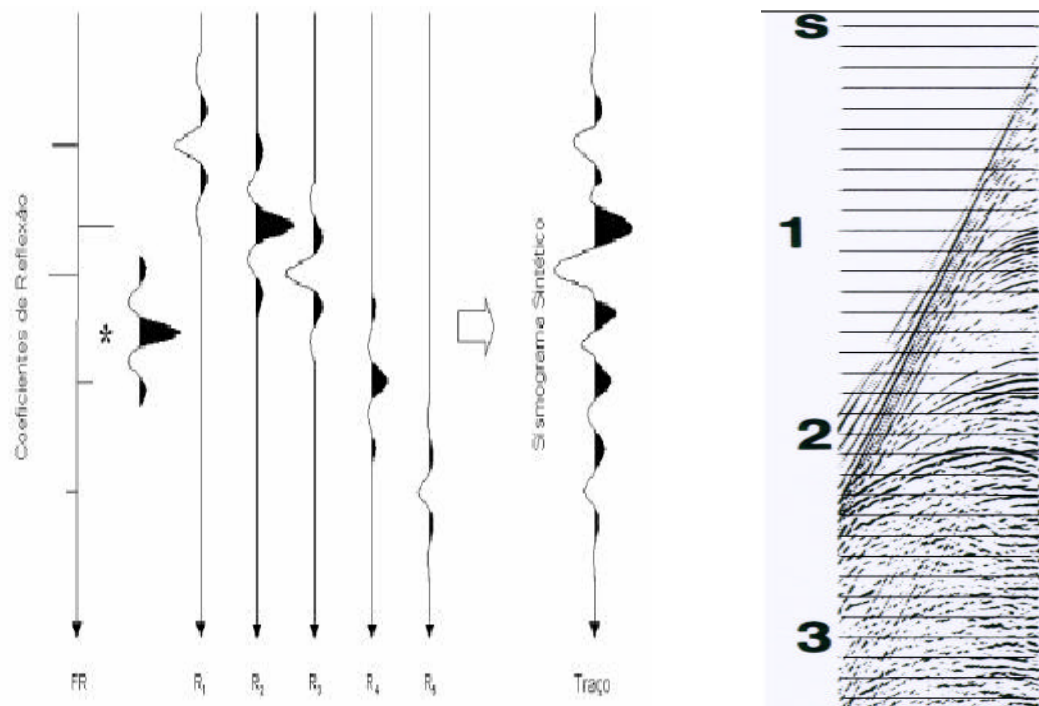


Figura 6 – Traço sísmico (Gerhardt, 1998)

No que concerne à resolução lateral, a distância horizontal entre dois sinais é considerada. Dois sinais refletidos são considerados horizontalmente no processo se não estão na zona de Fresnel. Dois pontos estão na Zona de Fresnel se, na crosta terrestre no nível da emissão das ondas, não é possível distinguí-los. A determinação do tamanho do raio horizontal r que abrange a zona de Fresnel depende da velocidade, do tempo e da frequência e é expressa por $r = \left(\frac{v}{2}\right)\left(\frac{t}{f}\right)^{\frac{1}{2}}$.

Os sinais sísmicos em traços sísmicos são captados num processo conhecido como aquisição, processados (tratados) e interpretados. Estes três itens são abordados a seguir.

2.2

Aquisição do dado sísmico

No que concerne à aquisição, sinais sísmicos são ondas refletidas resultantes de fonte artificial de impacto, como por exemplo, explosivo tipo dinamite ou, no caso marítimo, disparos de cápsulas de ar comprimido por canhões especiais. A figura 7 ilustra como é realizada a aquisição dos dados sísmicos. A aquisição descrita nesta tese é tridimensional (3D). Em cada diferente tipo de terreno que a onda incidente encontra, uma outra onda é refletida, captada por um conjunto de microfones e registrada (gravada em meio magnético).

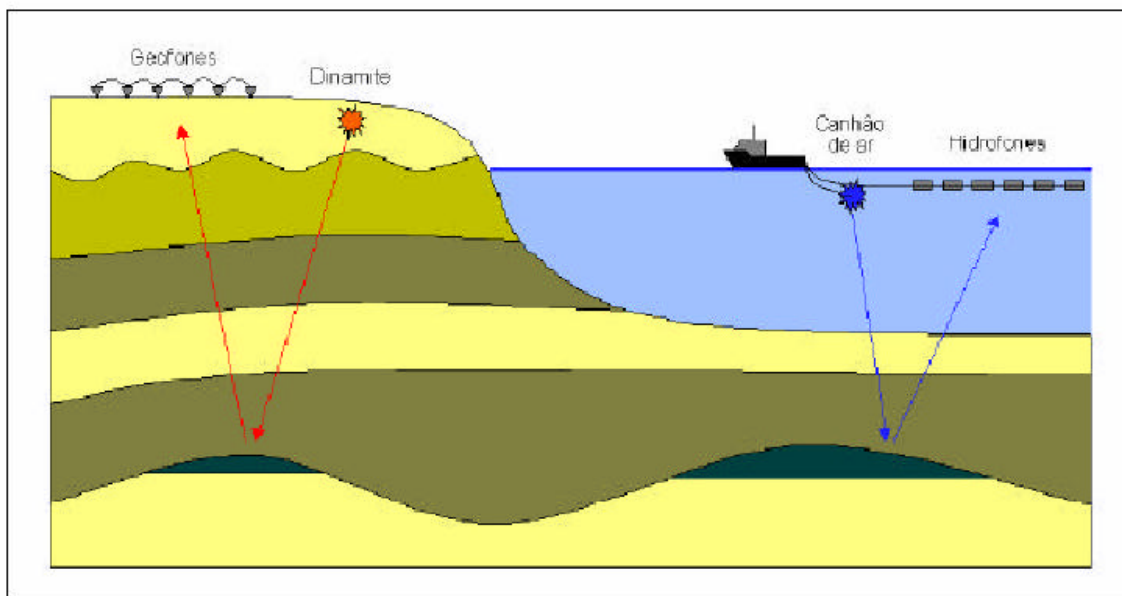


Figura 7 – Ilustração da aquisição de dados sísmicos (Gerhardt, 1998)

O valor do sinal sísmico captado (pertencente ao traço sísmico) é chamado de amplitude. Os microfones que captam os sinais são distribuídos sobre o terreno ou sobre a superfície do mar na forma de matrizes normalmente retangulares. A captação, portanto, é realizada em coordenadas x e y . Convenciona-se chamar a direção dos tiros ou fontes geradoras de “*in-line*”. A direção perpendicular à linha “*in-line*” é chamada de “*cross-line*”. O espaçamento típico entre as linhas “*in-line*” e “*cross-line*” é de 25 metros. Uma terceira coordenada z , que demarca a profundidade, é determinada pela captação dos sinais no tempo. Um intervalo típico de tempo na captação dos sinais é de 2 ms. Então, com um período constante, as amplitudes são registradas nas coordenadas

x e y. O conjunto x, y, z e amplitude forma um volume sísmico ou dados sísmicos.

A linha geradora dos sinais (tiros) é dinâmica. Com efeito, os disparos se sucedem “arrastando” as fontes emissoras de ondas sonoras e os microfones que captam os dados refletidos. Um CDO (*common depth point*) é um grupo de traços sísmicos que representam um simples ponto de um refletor plano. Um CMP (*common midpoint*) é a reunião de traços sísmicos que representam um simples ponto de um refletor não plano. Em outros termos, cada traço de um grupo refere-se a diferentes fontes e receptores, no entanto, representam o mesmo ponto CDO ou CMP na superfície analisada (Gadallah, 1994). A figura 8 mostra uma ilustração de um CMP.

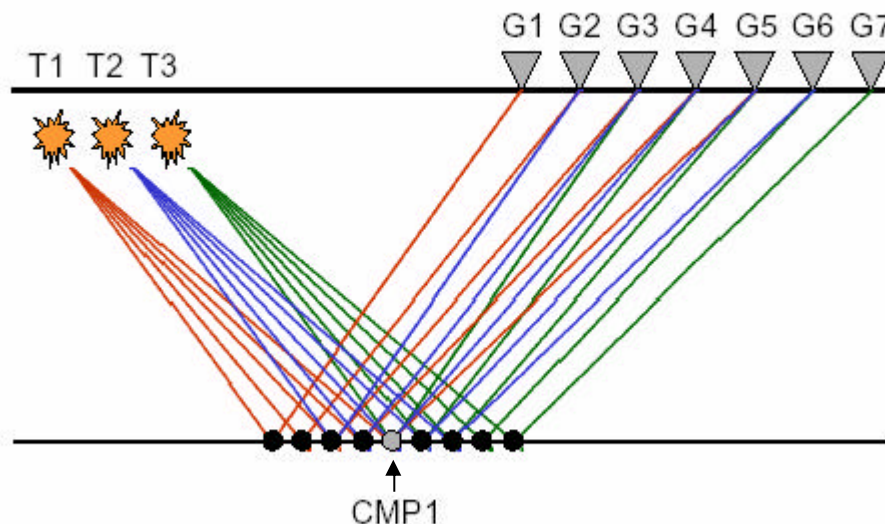


Figura 8 – Ilustração de um *Common Midpoint (CMP)* (Gerhardt, 1998)

2.3

Tratamento dos dados sísmicos

Os dados considerados nesta tese referem-se as variáveis do posicionamento e a variável do valor da impedância (amplitude) sísmica. O contraste da impedância entre dois níveis de diferentes rochas (ou terrenos) causa as reflexões que são gravadas.

Cada bacia tem suas próprias características o que torna o tratamento dos dados sísmicos adquiridos uma tarefa complexa. Não há uma única regra, lista,

receita, fluxograma com tópicos que possam generalizar o tratamento dos dados sísmicos para qualquer local a ser analisado. Muitas técnicas estão disponíveis para tornar os dados adquiridos “seções de interpretação crível”. É este o objetivo do tratamento dos dados sísmicos. No entanto, não há tratamento para as falhas nos dados adquiridos. Por exemplo, a falta de dados não é suprida no tratamento. O tratamento de dados sísmicos é uma tarefa multidisciplinar. Geólogos, geofísicos e engenheiros devem determinar as tarefas e associá-las às técnicas disponíveis.

Em termos de ações, uma das primeiras etapas realizada no tratamento refere-se à reorganização dos dados sísmicos adquiridos (gravados) no formato de traços sísmicos seguida de crítica de validação dos dados. Por exemplo, dados faltantes. Outras três ações merecem destaques em função de suas importâncias: Deconvolução, Análise de velocidade e empilhamento e, finalmente, Migração.

2.3.1 Deconvolução

Deconvolução é um processo de melhora na forma estrutural dos dados sísmicos através da compressão da onda adquirida. Deconvolução é também chamado de “filtro inverso” (Gadallah, 1994).

No item sobre Ondas foi apresentado o conceito de impedância acústica (ou impedância sísmica) como o produto da velocidade de tráfego de uma onda numa estrutura e da densidade desta estrutura. O contraste desta impedância entre duas estruturas diferentes gera as ondas refletidas que são gravadas como traços sísmicos em meios magnéticos para o tratamento. Um traço sísmico pode ser considerado como a convolução do sinal incidente e a função de reflexão ou impulso da estrutura (Gadallah, 1994; Yilmaz, 1987). No entanto, o traço sísmico gravado é repleto de ruídos e outros componentes. Um dos processos para a retirada das impurezas do traço sísmico é a aplicação de um filtro inverso sobre a autocorrelação do traço sísmico gravado. A autocorrelação é uma função simétrica de fase zero que torna o traço sísmico uma composição de lobos e impulso da estrutura. O isolamento do impulso da estrutura (parte desejada como dado sísmico) é realizado através de um filtro inverso. A figura 9 esquematiza a deconvolução.

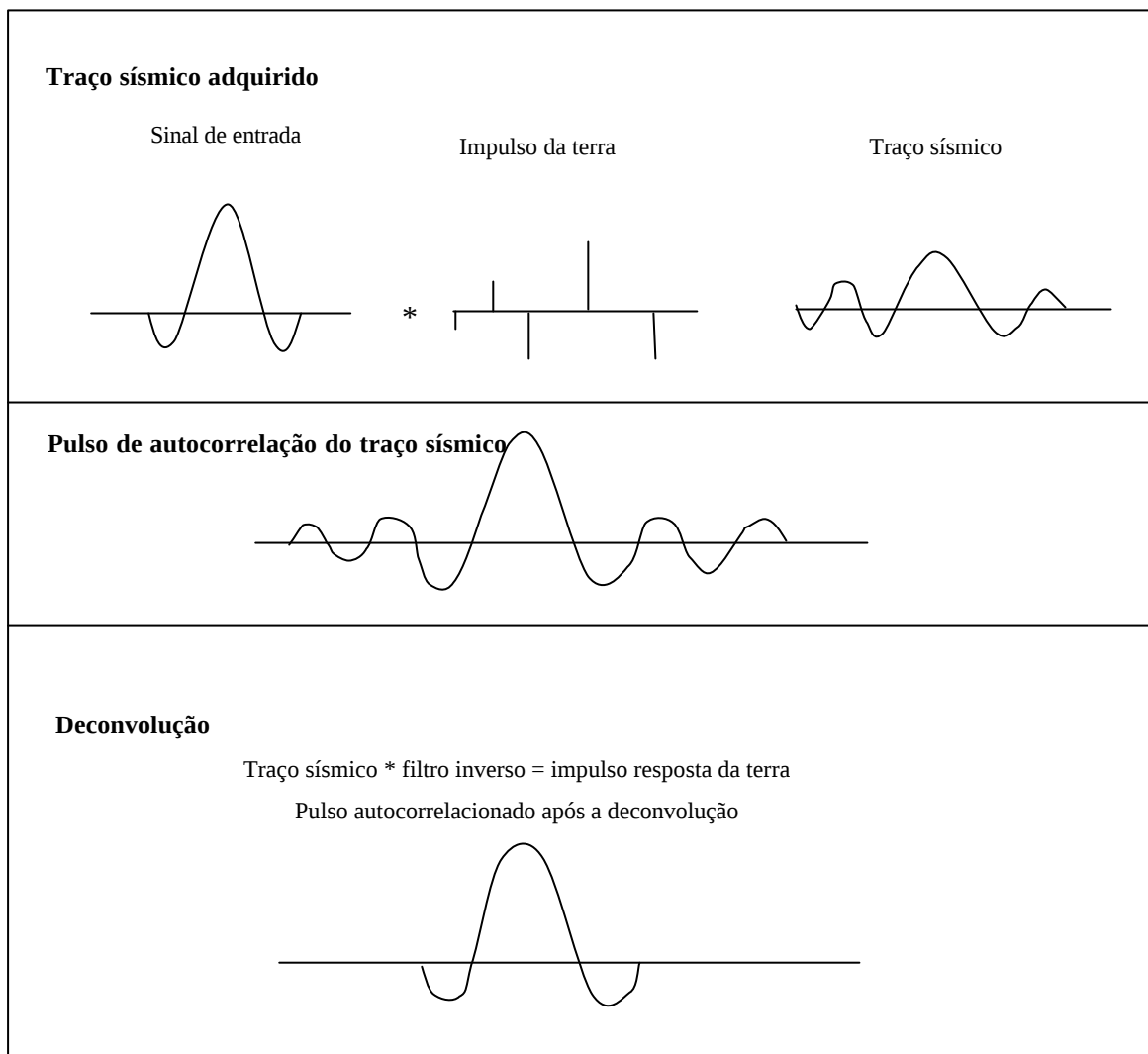


Figura 9 – Deconvolução (Gadallah, 1994)

2.3.2

Análises de velocidade e empilhamento

Dados sísmicos permitem a determinação indireta de velocidades (Gadallah, 1994). A velocidade derivada dos dados sísmicos é a velocidade originária num processo de busca do empilhamento ótimo (soma ajustada de velocidades) das ondas. A velocidade de empilhamento é relacionada ao “*normal moveout*” NMO. NMO é um procedimento que remove o deslocamento de tempo entre a fonte e o receptor corrigindo todos os traços para um ponto único. Este ponto único é o ponto médio entre a fonte e o receptor considerando-os na mesma superfície

(CMP). A figura 10 mostra a geometria de um NMO de um refletor horizontal simples.

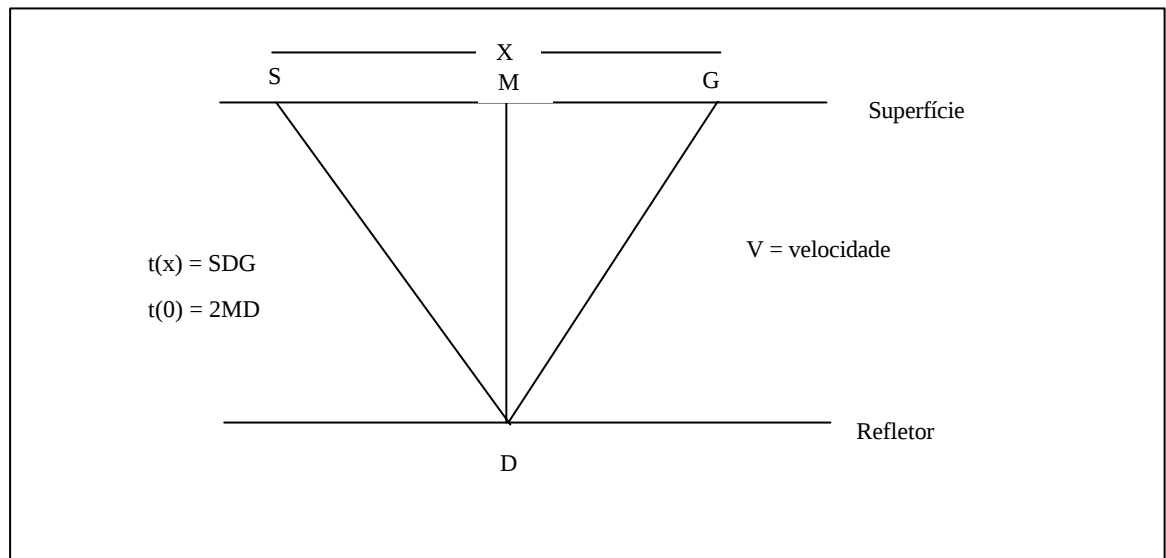


Figura 10 – NMO de um refletor plano (Gadallah, 1994)

Considerando-se o ponto médio M, o tempo para o deslocamento no caminho SDG é $t(x)$ onde x são os valores possíveis entre a fonte e o receptor (SG). Definindo-se $t(0)$ como o tempo para percorrer duas vezes o caminho MD, é possível determinar $t(x)$ como:

$$t(x)^2 = t(0)^2 + \frac{x^2}{v^2}$$

Os traços sísmicos após a correção NMO são somados para a obtenção de um traço empilhado para um particular CMP.

2.3.3 Migração

Migração é um processo de deslocamento da reflexão da onda para locais ajustados à profundidade do terreno. Em outros termos, migração é um processo de reconstrução da superfície de reflexão a partir da superfície de registro (aquisição) (Robinson e Treitel, 1980). A figura 11 mostra um esquema do processo de migração. Considere, na figura 11, a posição correspondente ao ponto (0,c) como o ponto de aquisição. Acompanhando a frente de onda

(“wavefront”), a posição correspondente ao ponto (a,b) é seu ponto de máxima convexidade.

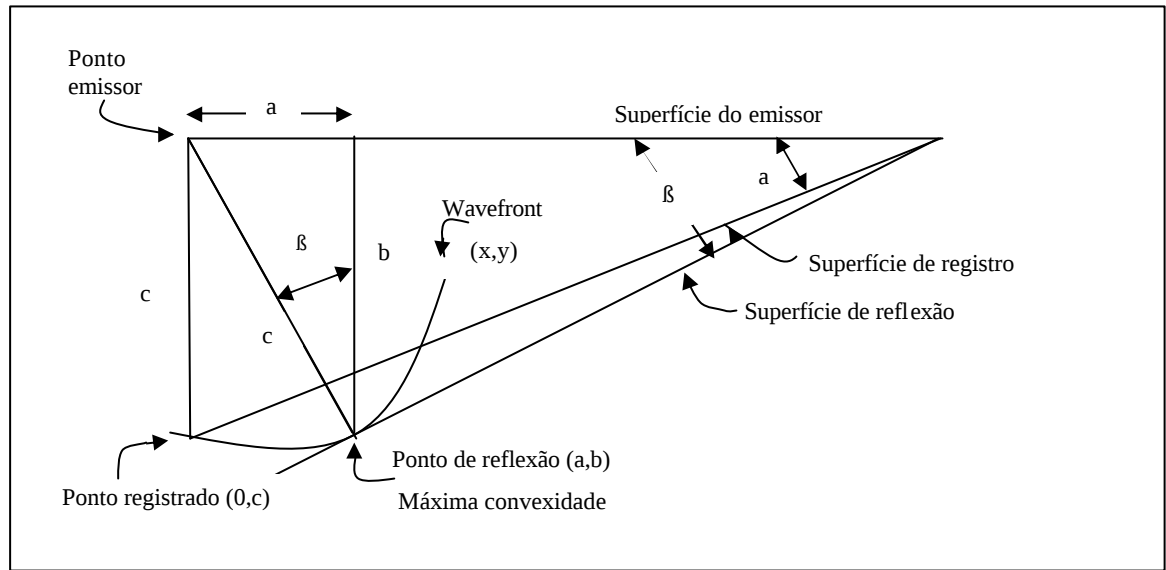


Figura 11 – Migração - esquema (Robinson e Treitel, 1980)

Migração, então, é o processo para a determinação, no caso da figura 11, do ponto (a,b). Conhecendo o valor do segmento c (distância entre (0,0) e (0,c)) e o declive formado entre a superfície emissora e a superfície de registro ou aquisição ($\tan a$) o problema passa a ser a determinação do ponto (a,b) e do declive $\tan b$.

No ponto (0,c) temos:

$$\tan a = \frac{dy}{dx} = -\frac{a}{c}$$

Como os valores de $\tan a$ e c são conhecidos,

$$a = -c \tan a$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$b = c\sqrt{1 - \tan^2 a}$$

$$\tan b = \frac{dy}{dx} = -\frac{a}{b}$$

2.4 Interpretação

Interpretação é a etapa de exame do volume sísmico através de mapas. A aplicação do método proposto nesta tese é realizada nesta etapa. Em outros termos, os dados sísmicos depois de tratados são agrupados e visualizados.

Nas etapas de aquisição e tratamento são geradas anormalidades nos dados sísmicos resultantes de limitações dos aparelhos técnicos associados com fenômenos naturais (por exemplo: passagem de baleias durante a captação). Estas anomalias são importantes para a elaboração de mapas. Estas anormalidades, acrescidas a outras características inerentes dos dados sísmicos, são analisadas a seguir.

2.5

Características dos dados sísmicos

Duas anormalidades provenientes das etapas de aquisição e tratamento dos dados sísmicos, importantes para a formação dos grupos e mapas, são: “falha de dados” e “estruturas fantasmas” (Robinson e Treitel, 1980). Durante o processo de aquisição uma quantidade de sinais é captada com valores incoerentes (por exemplo, em função do mau funcionamento de microfones ou passagem de cardumes). Este fato resulta, na etapa de tratamento, na desconsideração dos dados que passam a serem tratados como “falha de captação” ou “falha de dados”. Por vezes as coordenadas referentes as “falhas” são preenchidas com valores que devem ser consideradas em grupos à parte no processo de agrupamento. Por vezes as coordenadas destas falhas e valores não são incluídas nos dados o que implica uma descontinuidade que deve ser observada na elaboração do mapa.

Algumas ondas incidentes, na etapa de aquisição, têm duplicidade na emissão resultando uma captação duplicada de estruturas em tempos diferentes. Este fato gera estruturas duplicadas em superfícies diferentes (mesmos x e y com z diferentes) ou “estruturas fantasmas”. Durante a fase de tratamento, onde tradicionalmente não há análise de mapas, detectar estruturas fantasmas no volume sísmico é um desafio. A determinação de estruturas fantasmas em processos de agrupamento visualizados em mapas é um procedimento não observado até o momento na literatura.

Características inerentes aos dados devem ser consideradas para a determinação de um processo de agrupamento. Dentre estas, as julgadas necessárias ao desenvolvimento do método proposto são descritas a seguir.

Os dados sísmicos são monovariáveis. A única variável medida na pesquisa sísmica é o sinal captado.

As amplitudes do volume sísmico possuem grande quantidade de ruído com valores próximos às amplitudes naturais e, portanto, de difícil exclusão pelos métodos existente na etapa de tratamento destes dados (Houlding, 1994). Ylmaz (1987) descreve o sinal refletido sendo captado com dois tipos de ruídos. O primeiro tipo de ruído é o “ruído aderente ou coerente” que tem sua fonte na aparelhagem que é utilizada. Por exemplo: variação da fonte de energia e ruído do cabo de transmissão após a captação. O segundo tipo que é captado junto com o sinal sísmico é o “ruído ambiental ou incoerente”. Este tipo tem fonte externa tais como ventos e deslocamentos de microfones pelo movimento da água. É este tipo de ruído que predomina, por vezes, sobre o sinal sísmico na captação sendo legado para o agrupamento.

A amplitude do sinal sísmico é tipicamente assimétrica em torno da média (Santamaria et al. 1999; Carreira-Perpiñan, 2000). A figura 12 mostra o histograma dos dados fornecidos pela Petrobrás. A assimetria dos dados sísmicos é uma característica importante para a escolha de um método para classificação.

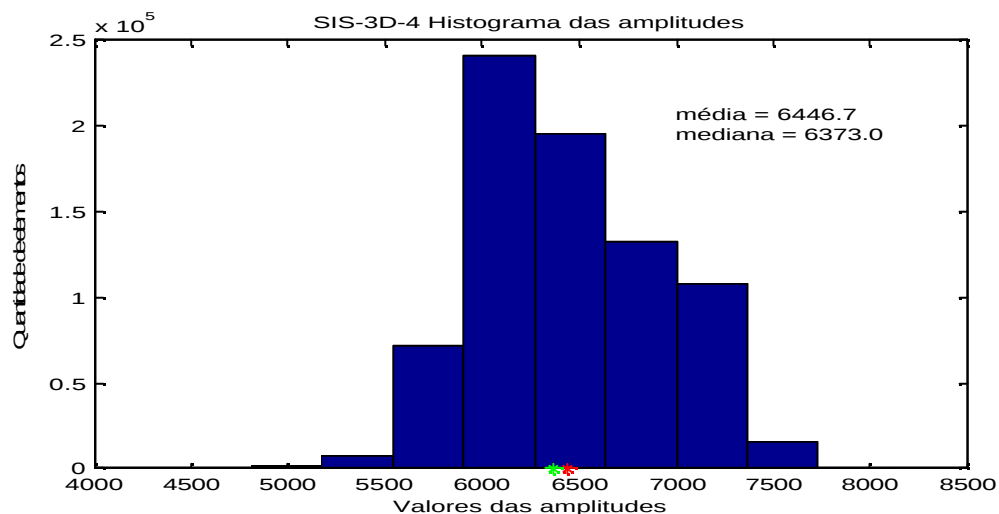


Figura 12 – Histograma dos dados reais – assimetria

2.6

Base de Dados

A base de dados utilizada nesta tese é formada de 772800 registros de amplitude sísmica. Estes dados correspondem a uma pequena parte da bacia de Campos e foram fornecidos pela Petrobras.

Os dados possuem dois tipos de variáveis. O primeiro tipo é a amplitude do sinal. O segundo tipo é a posição da amplitude e compreende quatro variáveis: as coordenadas x, y e z e uma variável que indica a camada a que pertence à amplitude. Os dados foram fornecidos em 8 camadas. A variável z determina a distorção da camada. A figura 3 mostra a distribuição dos dados sísmicos fornecidos pela Petrobras.

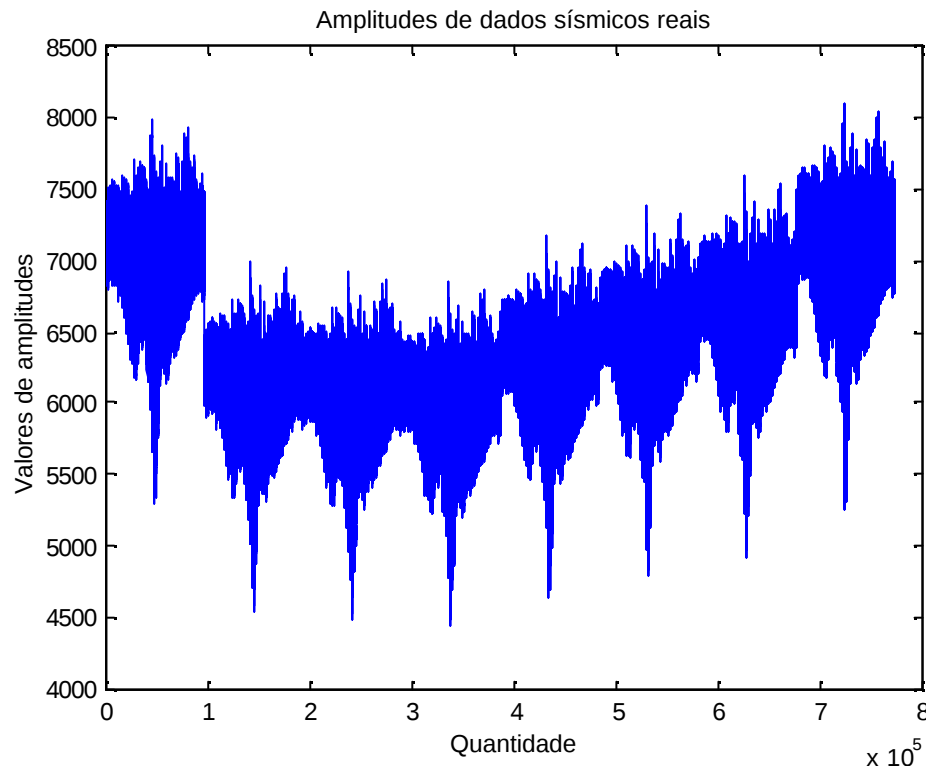


Figura 03 – Distribuição das amplitudes dos dados reais

A figura 13 mostra as interligações dos assuntos da tese evidenciados no capítulo 2.

Neste capítulo foram descritos os dados sísmicos evidenciando dois aspectos importantes para o desenvolvimento desta tese. No primeiro, assimetria e ruídos da distribuição dos dados são descritos como duas características que devem ser consideradas num processo de agrupamento de dados. Um mesmo processo de agrupamento de dados sísmicos deve ter condições de tratar estas duas características para o atributo medido.

Um segundo aspecto está associado às figuras geológicas que são apresentadas nos mapas. Além da nitidez das figuras e da determinação de

contornos das figuras geológicas, um processo de agrupamento deve ter condições de mostrar as anormalidades estruturas fantasmas e falhas de dados.

O capítulo a seguir avalia os métodos de agrupamento.

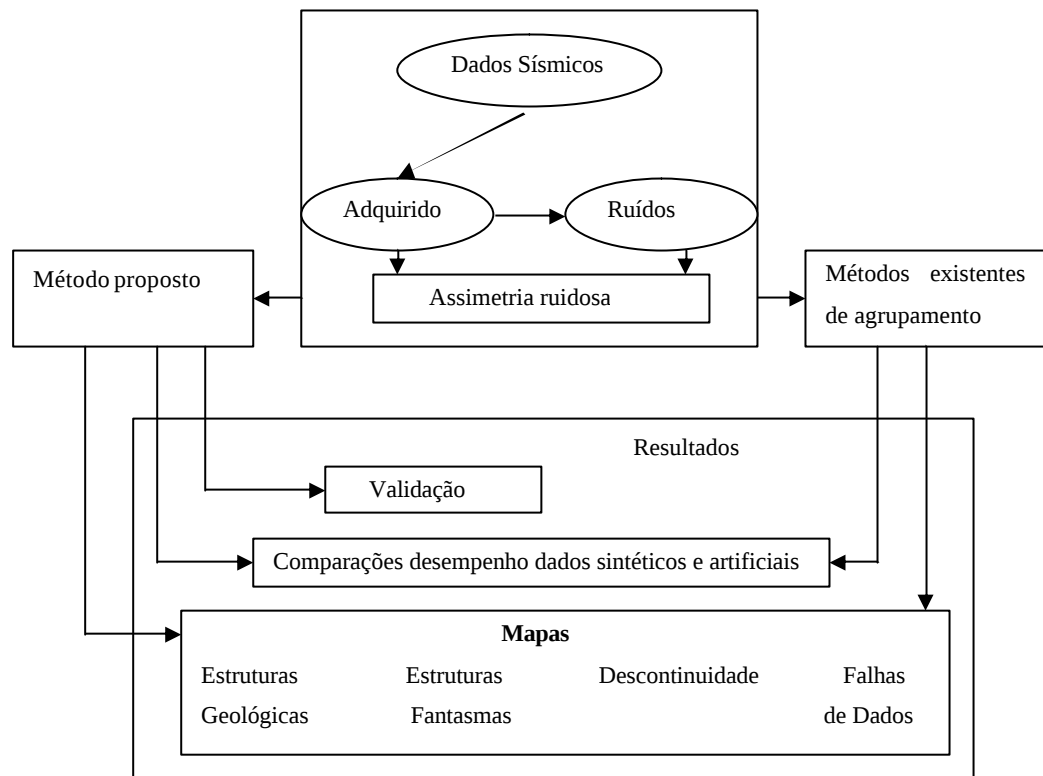


Figura 13 – Interligações dos assuntos da tese – capítulo 2